

Method of operating a power plant with recycled CO2

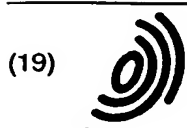
Patent Number: ☐ US6269624
Publication date: 2001-08-07
Inventor(s): WETTSTEIN HANS (CH); FRUTSCHI HANS ULRICH (CH)
Applicant(s): ASEA BROWN BOVERI (US)
Requested Patent: ☐ EP0953748, B1
Application Number: US19990300276 19990427
Priority Number(s): EP19980810378 19980428
IPC Classification: F02C7/10
EC Classification: F01K21/04E, F02C1/06, F02C3/34
Equivalents: CA2270130, DE59810673D, NO991978

Abstract

In a method of operating a power station plant with a closed or virtually closed CO2 process, a fuel quantity (21) and oxygen (18) required in this regard for the oxidation are introduced into the cycle for the internal combustion. A recuperator (8) acts on the downstream side of a turbine (2) belonging to the power station plant, at least one heat sink (24) operating downstream of this recuperator before the cycle medium (6) flows back into a compressor (1) which likewise belongs to the power station plant. A partial quantity of the compressed cycle medium (10) is directed into a condensing plant, the liquid CO2 formed here being disposed of in the best possible way

Data supplied from the esp@cenet database - I2

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) EP 0 953 748 A1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.11.1999 Patentblatt 1999/44

(51) Int. Cl.⁶: F02C 3/34, F01K 21/04,
F02C 3/20

(21) Anmeldenummer: 98810378.4

(22) Anmeldetag: 28.04.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstattungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• Frutschi, Hans Ulrich
5223 Riniken (CH)
• Wettstein, Hans, Dr.
5442 Fislisbach (CH)

(71) Anmelder: Asea Brown Boveri AG
5401 Baden (CH)

(54) **Verfahren zum Betrieb einer Kraftwerksanlage mit einem CO₂-Prozess**

(57) Bei einem Verfahren zum Betrieb einer Kraftwerksanlage mit einem geschlossenen oder quasischlossenen CO₂-Prozess, wird für die innere Verbrennung eine Brennstoffmenge (21) und ein hierfür für die Oxidation erforderliche Sauerstoff (18) in den Kreislauf eingebracht. Abströmungsseitig einer zur Kraftwerksanlage gehörigen Turbine (2) wirkt ein Rekuperator (7), wobei stromab dieses Rekuperators mindestens

eine Wärmesenke (24) operiert, bevor das Kreislaufmedium (6) in einen ebenfalls zur Kraftwerksanlage gehörigen Verdichter (1) zurückströmt. Eine Teilmenge des verdichteten Kreislaufmediums (10) wird in eine Auskondensierungsanlage (14) eingeleitet, wobei das hier gebildete flüssige CO₂ wird in bestmöglicher Art entsorgt.

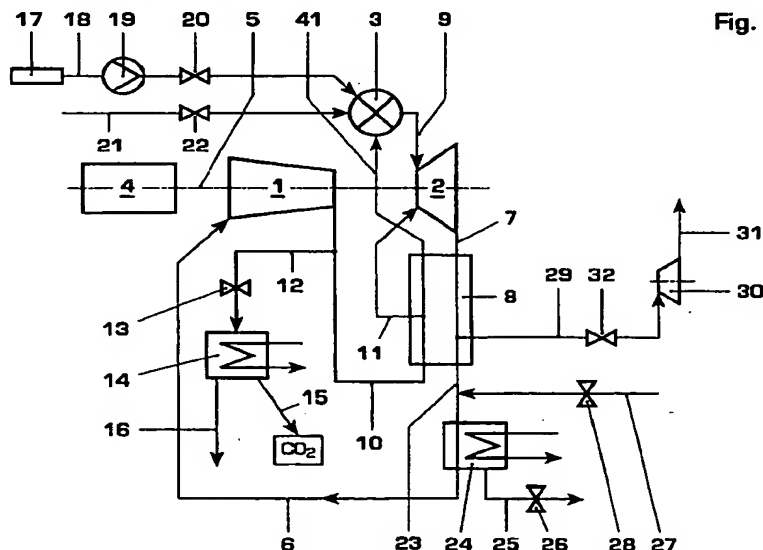


Fig. 1

EP 0 953 748 A1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Kraftwerksanlage gemäss Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Maschinen mit innerer Verbrennung verbrennen ihren Brennstoff in komprimierter Atmosphärenluft und vermischen ihre Verbrennungsgase inhärent mit dieser Luft und dem nicht ausgenutzten Restsauerstoff. Die fast immer kohlenstoffhaltigen Brennstoffe erzeugen dabei unter anderen CO₂, welches als Treibhausgas gilt. Die verbreitete Nutzung fossiler Brennstoffe setzt heute CO₂-Mengen frei, welche ein weltweit diskutiertes Risiko für das Weltklima darstellen. Es ist daher bereits eine intensive Suche nach CO₂-freien Technologien im Gange.

Die Energieversorgung ist heute von der Nutzung fossiler Brennstoffenergien in Maschinen mit innerer Verbrennung bestimmt, wobei die Entsorgung des stark verdünnten CO₂ in die Atmosphäre geschieht.

[0003] Die CO₂-Abscheidung aus den Abgasen mit Entsorgung durch Verflüssigung, Separation und Abschliessung von der Atmosphäre wäre naheliegend. Durch die grossen Volumenströme lässt sich aber ein solches Vorhaben nicht in die Praxis umzusetzen.

[0004] Eine weitere bekannte Möglichkeit ist die Rezirkulation von abgekühlten Abgasen in die Ansaugung von Maschinen mit innerer Verbrennung. Dies kann in einem Ausmass geschehen, dass der Sauerstoff der Luft gerade aufgebraucht wird. In diesem Fall bleibt das Abgas aber immer noch mit dem Luftstickstoff vermischt und das CO₂-Abscheidungsproblem ist damit nur marginal verkleinert.

Des weiteren, alle luftbetriebenen Verbrennungsmaschinen erzeugen auch Stickoxide, welche als Luftschadstoffe wirken, und deren Entstehung mit kostspieligen Massnahmen bekämpft wird.

Darstellung der Erfindung

[0005] Hier will die Erfindung Abhilfe schaffen. Der Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem Verfahren zum Betrieb einer Kraftwerksanlage der eingangs genannten Art das anfallende CO₂ umweltschonend zu entsorgen, gleichzeitig liegt hier der Erfindung die Aufgabe zugrunde, die ebenfalls anfallenden Luftstickoxide zu eliminieren sowie die Wirkungsgradausbeute der Kraftwerksanlage zu maximieren.

[0006] Die wesentlichen Vorteile der Erfindung sind darin zu sehen, dass hier ein Verfahren vorgeschlagen wird, bei welchem das CO₂ in reiner Form und unter Druck, zwecks nachfolgender Verflüssigung, abgege-

ben wird.

Dabei geht das Verfahren von einem CO₂-Prozess mit einer inneren Verbrennung aus, bei welchem zur Erhitzung der sich im Kreislaufs befindlichen CO₂-Masse, welche Erhitzung vorzugsweise anhand eines gasförmigen Brennstoffes bewerkstelligt wird, nur jene erforderliche Sauerstoffmenge zugeführt wird, die zur Oxydation ebendieses Brennstoffs notwendig ist.

Durch eine entsprechende Abzapfung von CO₂ aus dem Kreislauf an geeigneter Stelle kann fortlaufend der Aufladungsgrad und damit die Leistung des Prozesses geregelt werden.

Anschliessend, durch Auskondensierung des aus dem Prozess ausgeschiedenen CO₂ wird sodann jener Aggregatzustand dieses Gases bewerkstelligt, bei welchem sich das anfallende CO₂ unter umweltschonenden Gesichtspunkten, insbesondere was die Treibhausproblematik betrifft, leicht entsorgen lässt.

[0007] Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass hiermit Abhilfe gegen die Tatsache geschaffen wird, dass alle luftatmenden Verbrennungsmaschinen auch Stickoxide erzeugen, welche als Luftschadstoffe wirken und deren Entstehung mit kostspieligen Massnahmen bekämpft werden muss, dies nicht zuletzt im Lichte der weltweit restriktiven Gesetze über die zulässigen Schadstoffemissionen. Indem bei Rezirkulationsbetrieb mit reinem Sauerstoff kein Luftstickstoff in die Flamme kommt, entsteht auch kein NO_x. Falls der Brennstoff gebundenen Stickstoff mitbringen sollte, ist zwar mit einer geringen NO_x-Bildung zu rechnen. Da aber das Ueberschussgas eine viel kleinere Menge als das Abgas bei Luftbetrieb darstellt, ist dessen Nachbehandlung einfacher und billiger.

[0008] Ferner ist ein wesentlicher Vorteil der Erfindung darin zu sehen, dass sich das Verfahren anhand mehrerer Arten von Gasturbinenschaltungen realisieren lässt, wobei die erfindungsgemässen Schaltungen eine spezifische optimale Lösung in Abhängigkeit zu den vorgegebenen Parametern darstellt, und wobei durch die hier im Vordergrund stehende erfindungsgemässe rekuperative Abwärmenutzung im Zusammenhang mit mindestens einer nachgeschalteten Wärmesenke eine Maximierung der Wirkungsgradausbeute erzielt wird.

[0009] Die erfindungsgemässe Schaltung eignet sich des weiteren vorzüglich, das ihr innewohnende Potential betreffend das gekühlte Kreislaufmedium umzusetzen, indem die wichtigsten Aggregate dieser Kraftwerksanlage mit dem hier erfindungsgemäss zugrundegelegten Kreislauf in einem gemeinsamen Druckbehälter untergebracht werden. Damit lassen sich die sämtliche Kühlprobleme auf einfachster Art mit einer Maximierung des Wirkungsgrades lösen.

[0010] Vorteilhafte und zweckmässige Weiterbildungen der erfindungsgemässen Aufgabenlösungen sind in den weiteren Ansprüchen gekennzeichnet.

[0011] Im folgenden werden anhand der Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert. Alle

für das unmittelbare Verständnis der Erfindung unwesentlichen Merkmale sind fortgelassen worden. Gleiche Elemente sind in den verschiedenen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die Strömungsrichtung der Medien ist mit Pfeilen angegeben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0012] Es zeigt:

- Fig. 1 eine Schaltung eines Gasturbinenprozesses mit rekuperativer Abwärmenutzung und mit Turboverdichter,
- Fig. 2 eine weitere Schaltung weitgehend nach Fig. 1 aufgebaut, mit verschiedenen Erweiterungen im Bereich der Bereitstellung von Brennstoff und
- Fig. 3 eine weitere Schaltung gemäss Fig. 1, wobei die Wärmesenke durch eine weitere nachgeschaltete Wärmesenke betrieben wird.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0013] Fig. 1 zeigt eine Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf. Diese Gasturbine bzw. Gasturbogruppe besteht aggregatenmässig aus einer Verdichtereinheit 1, einem mit dieser Verdichtereinheit gekoppelten Generator 4, einer mit der Verdichtereinheit gekoppelten Turbine 2, einer zwischen Verdichtereinheit 1 und Turbine 2 wirkende Brennkammer 3. Die Kopplung der Strömungsmaschinen 1 und 2 kann anhand einer gemeinsamen Welle 5 bewerkstelligt werden. Was die Verdichtereinheit 1 betrifft, so kann diese mit mindestens einem nicht näher gezeigten Zwischenkühler oder mit Mitteln für eine isotherme Kühlung ausgestattet sein. Die Vorteile, die sich aus einer solchen Schaltung mit Zwischenkühlung ergeben, betreffen den Wirkungsgrad und die spezifische Leistung. Das von der Verdichtereinheit 1 angesaugte Kreislaufmedium 6, das eingangsseitig des Verdichtereinheit 1 einen Druck von ca. 10 bar bei einer Temperatur von ca. 15° C aufweist, strömt nach erfolgter Kompression 10 in Gegenstromrichtung durch einen von den besagten Abgasen 7, welche eine Temperatur von 780°-800° C aufweisen, beaufschlagten Rekuperator 8 und anschliessend in die Brennkammer 3, in welcher die kalorische Aufbereitung dieses Mediums zu Heissgasen 9 stattfindet, welche dann die Turbine 2 beaufschlagen. Ueber die Möglichkeit der Verdichtereinheit 1 eine Starthilfe zu geben, wird unter Fig. 2 näher behandelt. Die zur Kühlung der thermisch hochbelasteten Aggregate der Gasturbogruppe, insbesondere der Turbine 2, wird eine Teilmenge 11 des verdichteten Mediums 10, nämlich CO₂, an geeigneter Stelle im Rekuperator 8 abgezweigt und zur Kühlung der genannten Aggregate, sei in geschlos-

senen und/oder offenen Strömungspfad, eingesetzt. Vorliegend ist hier lediglich die Kühlung der Turbine 2 angedeutet. Dieser Nebenstrom 11 liegt in der Grössenordnung von 4-8% des ganzen verdichteten Umlaufgases. Dieses Umlaufgas besteht, wie bereits angedeutet, überwiegend aus CO₂, enthält aber allenfalls auch noch parasitische Gase, welche mit dem Sauerstoff und Brennstoff sowie beim Anfahren mit Luft eingeschleppt worden sind, sowie Umwandlungsprodukte davon, beispielsweise NO_x. Der Aufladungsgrad des geschlossenen Kreislaufes wird auf erwünschtem Niveau gehalten, indem intermittierend oder fortlaufend eine bestimmte Menge dieses Massenstromes an geeigneter Stelle abgezweigt und kondensiert wird. Vorliegend geschieht diese Umwandlung dadurch, dass eine bestimmte Menge 12 des verdichteten Kreislaufmediums 10 stromab des Verdichters 1 abgezweigt und durch einen Kühler 14 geleitet wird, in welchem diese Verflüssigung stattfindet. Nach erfolgter Kondensation wird dieser verflüssigte CO₂-Massenstrom 15 zur Entsorgung abgeführt, beispielsweise und/oder vorzugsweise auf dem Meeresgrund oder in eine ausgebeutete Erdgaslagerstätte.

[0014] Diese Entsorgung an geeigneter Stelle mit geeigneten Mitteln löst schlagartig und nachhaltig die Problematik des Treibhauseffekts durch den ständigen Ausstoss vom gasförmigen CO₂ in die Atmosphäre. Daneben werden die parasitische Gase ebenfalls in Wirkverbindung mit dem genannten Kühler 14 ausgeschieden, wobei dieser sehr kleine Massenstrom 16 einer weiteren Separation unterworfen werden kann oder an die Atmosphäre abgegeben wird. Im Zusammenhang mit dem Betrieb der Brennkammer 3 wird die in einer Luftzerlegungsanlage 17 produzierte Sauerstoffmenge 18 in einem Kompressor 19 nachkomprimiert und über ein Regelorgan 20 in die Brennkammer 3 eingegeben. Parallel dazu strömt auch ein über ein Regelorgan 22 entsprechend abgestimmter Brennstoff 21, der vorzugsweise Erdgas ist, oder auch andere Kohlenwasserstoffe oder CO oder Gemische derselben, in die Brennkammer 3, wobei mit der zugegebenen Sauerstoffmenge 18 die kalorische Aufbereitung des komprimierten und durch die Strömung im Rekuperator thermisch aufbereiteten Umlaufgases 41 bewerkstelligt wird. Das aus der Brennkammer kommende Heissgas 9 wird anschliessend in die nachgeschaltete Turbine 2 entspannt. Im Sinne des hier gezeigten geschlossenen Kreislaufes werden die aus der Turbine 2 abströmenden Abgase 7, wie bereits oben kurz erwähnt, durch einen Rekuperator 8 geleitet, bevor sie wieder der bereits beschriebenen Kompression zugeführt werden. Stromab des genannten Rekuperators 8 wird das vorgekühlte Umlaufgas 23 mit einer Temperatur von 195°-245° C durch eine Wärmesenke 24 geleitet, in welcher eine Wassermenge ausgeschieden wird, wobei das hier anfallende Wasser 25 über ein Regelorgan 26 abgeleitet wird. Diese Wärmesenke wird dabei mindestens auf Umgebungstemperatur betrieben. Die

vorliegende Schaltung nach Fig. 1 zeigt des weiteren eine Startmöglichkeit des Kreislaufes, welche darin besteht, den Kreislauf zuerst mit CO₂ 27 über ein Regelsystem 28 zu füllen, und dann anzufahren. Diese Zuleitung wird hier stromab des Rekuperators 8 und stromauf der Wärmesenke 24 angesiedelt. Die hier gezeigte Schaltung weist ferner eine zusätzliche Entnahme einer weiteren Menge 29 des Kreislaufmediums 10 niederdruckseitig an geeigneter Stelle aus dem Rekuperator 8 zur geregelten Beaufschlagung 32 eines Expanders 30 auf. Das abgeführte entspannte Kreislaufmedium 31 lässt sich beispielsweise wieder in den Kreislauf zurückführen; möglich ist hier auch eine Kondensation desselben. Ueber diesen Expander 30 lässt sich beispielsweise ein optimaler Druck für die Aufladung des Kreislaufes erzielen, wobei in einem solchen Fall eine Mengeregelung vorzusehen ist.

[0015] Bei der hier gezeigten Schaltung handelt es sich streng genommen um einen quasi-geschlossenen Kreislauf, der druckfest ausgebildet ist, wobei bei verschiedenen Betriebsarten auch eine vakuumfeste Kreislaufführung möglich ist. Durch Drosseln oder Öffnen eines in der Leitung 12 plazierten Ueberschussgasventils 13 lässt sich der Kreislauf von selbst auf oder ab, wobei der umlaufende Massenstrom und die Leistung entsprechend steigen oder sinken. Beim Öffnen dieses Ventils 13 sinkt der Druck im Kreislauf, wobei Unterdruck in der Rückführung erzeugt werden kann. Die Anlage hat im ganzen Druckbetrieb etwa einen konstanten Wirkungsgrad, also bei einem Auslegungsbereich bezogen auf die Rückführung von 0,5 bis 5 bar im Leistungsbereich von 10-100%. Im tieferen Druckbereich sinkt die Kondensationstemperatur in der Wärmesenke 24, was den Wirkungsgrad noch leicht ansteigen lässt. Die von stationären Gasturbinen her bekannte unangenehme Leistungseinbusse mit zunehmender Aufstellungshöhe und mit zunehmender Ansaugtemperatur wird damit umgangen. Wird die Anlage allenfalls mit Ueberschussabgabe an die Atmosphäre betrieben, so wird der Gesamtwirkungsgrad noch verbessert, indem dessen Ueberdruck noch in einer Turbine mit zusätzlicher Leistungsabgabe genutzt wird. Hierzu wird im einzelnen auf die Beschreibung der nachfolgenden Figuren verwiesen. Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass dieser Prozess sich durch besondere Einfachheit, d.h. kostengünstigste Realisierbarkeit, auszeichnet, und ein hohes Wirkungsgradpotential aufweist. Er ist auch für die Aufladung noch besser geeignet als ein Prozess mit Abwärmenutzung durch einen Wasser/Dampf-Kreislauf, da das Verhältnis der Wärmekapazitäten im Rekuperator vom Aufladeverhältnis unabhängig ist. Ein grosser Vorteil dieses Prozesses ist ferner darin zu sehen, dass schon bei kleinen Druckverhältnissen, im Bereich von 4-10 bar, sein Wirkungsgradoptimum hat. Kleine Druckverhältnisse begünstigen hohe Komponenten-Wirkungsgrade und kleine innere Leckagen.

[0016] Fig. 2 unterscheidet sich gegenüber Fig. 1

darin, dass der benötigte Sauerstoff 38 zum Betrieb der Verbrennung aus einer Separationsanlage 37 kommt und zumindest bei einer aufgeladenen Betriebsweise in einem Sauerstoffverdichter 39 auf einen höheren Druck verdichtet wird. Der Sauerstoffverdichter 39 selbst wird mit einer Turbine 30 angetrieben, welche ihrerseits mit einem über ein Regelorgan 36 herangeführten Ueberschussgas 35 beaufschlagt wird, wobei dieses niederdruckseitig unmittelbar stromab des Rekuperators 8 abgezweigt wird. Je nach Aufladungsgrad und Temperatur kann diese Entnahme resp. Abzweigung an geeigneter Stelle niederdruckseitig innerhalb des Rekuperators 8 vorgenommen werden. Das entspannte Ueberschussgas 31 aus der Turbine 31 kann dann zu weiteren Zwecken eingesetzt werden. Hierzu wird auf die Ausführungen unter Fig. 1 hingewiesen. bei der Separationsanlage 37 kann es sich um eine kryotechnische Luftzerlegungsanlage handeln, wobei dann der flüssige Brennstoff mit einer Pumpe, welche wenig Leistung braucht, auf den erforderlichen Druck gebracht und dann erwärmt wird. Diese Erwärmung kann mit Umgebungswärme, der Abwärme des Rekuperators 8 oder im Rekuperator 8 selbst erfolgen. Im vorliegenden Fall wird ein im Verdichter 39 komprimierter Verbrennungssauerstoff 40 dem komprimierten Kreislaufmedium 10, stromab der Kühlfluidentnahme 11, beigegeben, falls dieser Sauerstoff 40 nicht direkt in die Brennkammer 3 eingegeben wird. Diese Lösung zeichnet sich dadurch aus, dass sie einen höheren Wirkungsgrad zur Folge hat. Eine weitere Möglichkeit der Sauerstoffzugabe, vorzugsweise ohne Erwärmung, besteht darin, dieser Verbrennungssauerstoff 33 niederdruckseitig in den Kreislauf einzubringen. In der Fig. 2 betrifft dies Leitung 33 mit Regelorgan 34. Eine weitere Möglichkeit betreffend Sauerstoffzuführung lässt sich bewerkstelligen, indem der vorverdichtete Sauerstoff auf dem Ansaugdruckniveau des Kreislaufmedium in die Leitung 6 eingegeben wird. Ein solcher Verbrennungssauerstoff lässt sich ohne weiteres ebenfalls über die Leitung 33 bewerkstelligen, allenfalls über eine weitere in der Figur nicht näher gezeigte Leitung. Der Vorteil besteht hier, dass kein separater Sauerstoffverdichter vorzusehen ist, womit eine automatische Teilnahme des eingegebenen Verbrennungssauerstoffes an der Rekuperations-Wärmeaufnahme stattfindet.

[0017] Fig. 3 baut weitgehend auf Fig. 1 auf. Der Unterschied liegt hier darin, dass der ersten auf Umgebungstemperatur arbeitenden Wärmesenke 24 eine zweite Wärmesenke 42 nachgeschaltet wird, welche die Funktion eines sogenannten "Chiller" (= Nachkühler) übernimmt. Diese zweite Wärmesenke 42 wird unterhalb der Umgebungstemperatur betrieben, wobei die Wasserabscheidung 25 nunmehr aus dieser zweiten Wärmesenke 42 stattfindet. In Wirkverbindung mit der ersten und zweiten Wärmesenke operiert eine Kältemaschine 43, deren Betrieb einerseits durch die thermische Energie 45 aus der ersten Wärmesenke 24

aufrechterhalten wird. Andererseits wird diese Kältemaschine mit Wärmeenergie 46 tieferer Temperatur aus der zweiten Wärmesenke 42 gespiesen. Aus dem Betrieb dieser Kältemaschine 43 folgt dann eine Wärmeabgabe 44 mittlerer Temperatur zu weiteren Zwecken. Dadurch, dass die zweite Wärmesenke 42 in Wirkverbindung mit der genannten Kältemaschine 43 steht, erfährt das in den Verdichter 1 eintretende Kreislaufmedium 6 eine Abkühlung, so dass die Kompressorleistung reduziert und den Wirkungsgrad direkt erhöht wird, da der Wärmebedarf wegen des rekuperativen Schrittes unverändert bleibt. Der Leistungsbedarf der Kältemaschine ist dabei nur ein kleiner Bruchteil der wirkungsgradbedingten Leistungserhöhung. Bei der Kältemaschine 43 kann es sich um einen Absorptionsprozess oder um einen klassischen Prozess mit einem Kompressor handeln, beispielsweise bei einem Verdichter-Druckverhältnis von 8 reduziert sich die Verdichteleistung bei einer Temperaturreduktion um 3,2° C um jeweils 1%. Eine Temperaturreduktion um 20-40° C ergibt eine Reduktion der Verdichterleistung um 6-12%. Der nachträgliche Einbau der zweiten Wärmesenke 42 ist jederzeit mit einem geringen Aufwand möglich.

[0018] Die Varianten nach Fig. 1-3 sind besonders auch geeignet für niedrigkalorische und/oder aschehaltige Brennstoffe, beispielsweise Schweröle, Kohlestaub-Wassergemische, LBTU-, MBTU-Gase, etc. Bei niedrigkalorischen Brennstoffen steigt die Temperatur nach dem Rekuperator, so dass sich die Nutzung in einem Dampf- oder Kalina-Prozess ihre Vorteile hat. Dabei werden dann mit solchen Brennstoffen sehr hohe Wirkungsgrade erreicht.

[0019] Bei aschehaltigen Brennstoffen ist eine Reinigungsstufe des Umlauffluides vor oder nach einer Wärmesenke 24 nötig. Denkbar ist hier ein Zyklonenabscheider vor dem Nachkühler und eine Ausbildung des Nachkühlers als Sprühkühler. Damit wird eine kompakte Bauweise und gleichzeitig eine gute Aschepartikel-Abscheidung erzielt. Das abgeschiedene Wasser 25 kann in bekannter Art wiederaufbereitet und wiederverwendet werden, wobei bei wasserstoffhaltigen Brennstoffen ein Wasserüberschuss entsteht, der in ariden Gebieten sehr erwünscht ist.

[0020] Die besondere Eignung der Schaltungen nach den Fig. 1-3 für aschehaltige Brennstoffe entsteht dadurch, dass bei einer nur zweistufigen Turbine einerseits eine staubtolerante Gestaltung erleichtert wird, und andererseits, dass die bei Aufladung höhere Dichte eine höhere Schleppwirkung auf die Partikel ausübt, was zu weniger Ablagerungen führt.

[0021] Die Gasturbogruppe gemäss einer der Figuren 1-3 lässt sich ohne weiteres durch eine sequentiell befeuerte Anlage gemäss EP-0 620 362 A1 ersetzen, wobei diese Druckschrift einen integrierenden Bestandteil vorliegender Beschreibung bildet.

[0022] Die Aggregate der Kraftwerksanlage, wie Verdichter 1, Turbine 2, Rekuperator 8 und Wärmesenke 24 werden in einen Druckbehälter untergebracht. Das

gekühlte Kreislaufmedium 6 strömt dabei innerhalb des Druckbehälters in geeigneter Weise zum Verdichter 1 zurück. Mit dieser Massnahme wird erreicht, dass der Rekuperator 8 auf der heissen Seite nur für die eigene Druckabfälle ausgelegt werden muss, und nicht für den Aufladedruck in der Leitung 6, da letzterer von dem inhärent kalten Druckbehälter aufgenommen wird. Ausserdem wirkt der Druckbehälter auch noch als zusätzliche Nachkühlfläche.

Eine weitere Möglichkeit dieser Grundidee besteht darin, den Generator 4 ebenfalls in den Druckbehälter unterzubringen. Damit wird erreicht, dass keine bewegliche Wellendichtung gegen den Aufladedruck nötig ist, sowie dass der Generator 4 in einer gegebenenfalls nachgefilterten CO₂-Atmosphäre laufen kann. Infolge der bei aufgeladenem Betrieb erhöhten Wärmeübergänge kann der Generator 4 kleiner gebaut werden und direkt mit dem zirkulierenden CO₂ gekühlt werden. Das übliche separate Kühlsystem wird dabei eingespart. Die Kühlwirkung steigt bei diesem System mit der Leistung, welche zum Aufladedruck proportional ist, während die Ventilationswiderstände bei tiefem Aufladedruck kleiner werden und dadurch einen hohen Teillastwirkungsgrad ergibt.

Das ganze Modul im Druckbehälter kann in oder unter Wasser schwimmend fest verankert und angeordnet werden. Dadurch wird die meist tiefere Wassertemperatur an vielen Aufstellorten zusätzlich zur Kühlung benutzt; darüber hinaus werden Fundamente gespart. Der Druckbehälter weist Zugangsöffnungen für den Service auf, sowie Ventilationseinrichtungen zum Ausspülen des CO₂ vor der Begehung. Soweit der Generator 4 nicht im Druckbehälter untergebracht ist, werden für die austretende Rotorwelle 5 geeignete Dichtungen vorgesehen.

Bezugszeichenliste

[0023]

1	Verdichter, Verdichtereinheit
2	Turbine
3	Brennkammer
4	Generator
5	Rotorwelle
6	Angesaugtes Kreislaufmedium, Umlaufgas, Umlauffluid, CO ₂
7	Abgase aus der Turbine
8	Rekuperator
9	Heissgase aus der Brennkammer
10	Komprimiertes Kreislaufmedium
11	Nebenstrom aus verdichtetem Kreislaufmedium für Kühlung
12	Nebenstrom aus verdichtetem Kreislaufmedium für Kondensierung
13	Ventil, Regelorgan
14	Kühler
15	Verflüssigter CO ₂ -Massenstrom

- 16 Parasitische Gase
- 17 Luftzerlegungsanlage
- 18 Sauerstoffmenge
- 19 Kompressor
- 20 Regelorgan
- 21 Brennstoff, Brenngas, CH₄
- 22 Regelorgan
- 23 Vorgekühltes Kreislaufmedium
- 24 Wärmesenke
- 25 Anfallendes Wasser
- 26 Regelorgan
- 27 CO₂-Zuleitung in den Kreislauf zum Starten
- 28 Ventil, Regelorgan
- 29 Niederdruckseitige Entnahme einer Menge des Kreislaufmediums aus 8
- 30 Expander
- 31 Abgeführtes entspanntes Kreislaufmedium
- 32 Ventil, Regelorgan
- 33 Verbrennungssauerstoff niederdruckseitig eingegeben
- 34 Ventil, Regelorgan
- 35 Ueberschussgas
- 36 Ventil, Regelorgan
- 37 Sauerstoff-Separationanlage
- 38 Sauerstoff
- 39 Sauerstoffverdichter
- 40 Verbrennungssauerstoff hochdruckseitig eingegeben.
- 41 Verdichtetes und thermisch aufbereitetes Umlaufgas/Kreislaufmedium
- 42 Zweite Wärmesenke (Chiller)
- 43 Kältemaschine
- 44 Wärmeabgabe aus der Kältemaschine
- 45 Thermische Energie aus der ersten Wärmesenke
- 46 Wärmeenergie tiefer Temperatur aus der zweiten Wärmesenke

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Kraftwerksanlage mit einem geschlossenen oder quasi-geschlossenen Kreislauf, wobei die Kraftwerksanlage im wesentlichen aus mindestens einer Verdichtereinheit, mindestens einer Brennkammer, mindestens einer Turbine besteht, dadurch gekennzeichnet, dass der Kreislauf mit einem CO₂-Medium mit einer inneren Verbrennung mit einem Brennstoff (21) und der hierfür zur Oxidation erforderliche Sauerstoff (18) betrieben wird, dass das Kreislaufmedium (7) niederdruckseitig einen der Turbine (2) nachgeschalteten Rekuperator (8) durchströmt, stromab des Rekuperators (8) mindestens eine Wärmesenke (24), die mindestens auf Umgebungstemperatur operiert, passiert und anschliessend in die Verdichtereinheit (1) rückgeführt wird, und dass eine Teilmenge (12) des verdichteten Kreislaufmediums (10) stromauf des Rekuperators (8) in eine Auskon-

densierungsanlage (14) eingeleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass stromab der ersten Wärmesenke (24) eine zweite Wärmesenke (42) operiert, welche unterhalb der Umgebungstemperatur der ersten Wärmesenke betrieben wird.
3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Wärmesenke in Wirkverbindung mit einer Kältemaschine (43) betrieben werden.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Verdichtereinheit (1) mindestens mit einem Zwischenkühler betrieben wird.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Verdichtereinheit (1) mit Mitteln für eine isotherme Kühlung betrieben wird.
6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Auskondensierungsanlage (14) stromab der Verdichtereinheit (1) und stromauf des Rekuperators (8) betrieben wird.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufladedruck des Kreislaufprozesses durch entsprechende Dosierung der Entnahme eines überschüssigen Kreislaufmedium (12, 29) geregelt wird.
8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die abgezweigte Teilmenge (12) einer bestimmten Abscheidungsrate an CO₂ entspricht, mit welcher der Aufladungsgrad des Kreislaufprozesses und dessen Leistung entsprechend geregelt werden.
9. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Auskondensierungsanlage (14) gleichzeitig im Kreislaufprozess entstehende parasitische Gase (16) ausgeschieden werden.
10. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zum Starten des Prozesses eine CO₂-Menge (27) in den Kreislauf eingeleitet wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die CO₂-Menge (27) niederdruckseitig in die thermisch aufbereiteten Abgase (23) eingeleitet wird.
12. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Menge des Kreislaufmediums (29) niederdruckseitig aus dem oder

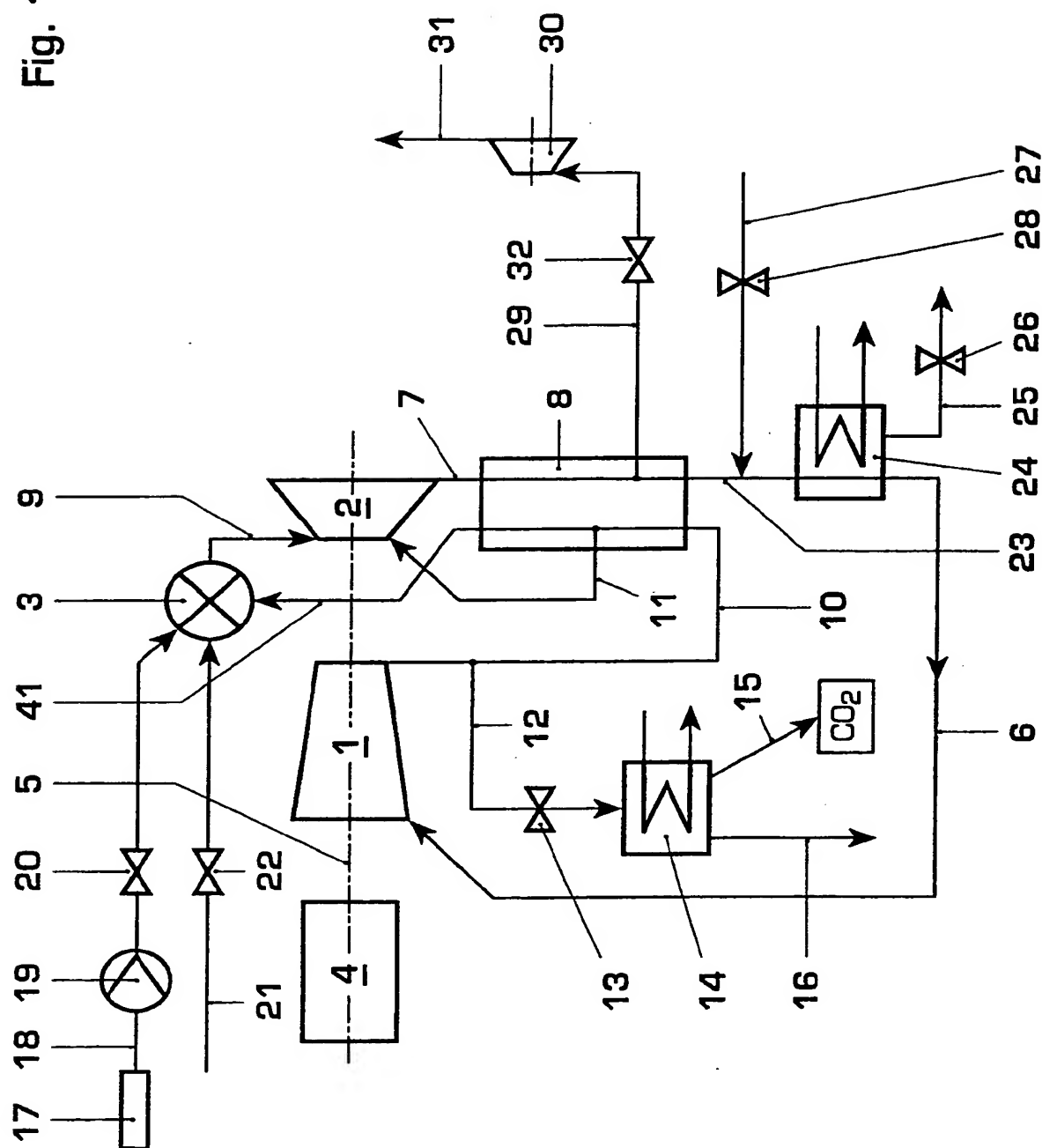
stromab des Rekuperators (8) zum Betrieb eines Expanders (30) abgezweigt wird.

13. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in den Kreislauf ein Verbrennungssauerstoff (33, 40) eingegeben wird. 5
14. Verfahren nach den Ansprüchen 12 und 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Expander (30) einen Verdichter (39) antreibt, in welchem der Verbrennungssauerstoff (38) für die Verbrennung verdichtet wird. 10
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der verdichtete Verbrennungssauerstoff (40) hochdruckseitig in den Kreislaufprozess eingeleitet wird. 15
16. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungssauerstoff (33) vorverdichtet und niederdruckseitig eingegeben wird. 20
17. Kraftwerksanlage zur Anwendung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 oder 2, wobei die Kraftwerksanlage in einem geschlossenen oder quasischlossenen CO₂-Kreislauf betreibbar ist, und wobei die Kraftwerksanlage im wesentlichen aus mindestens einem Generator, einer Verdichtereinheit, einer Brennkammer, einer Turbine, einem Rekuperator und einer Wärmesenke besteht, dadurch gekennzeichnet, dass die zum Gasturbinenprozess gehörenden Aggregate (1, 2, 3, 8, 24) in einem gemeinsamen Druckbehälter untergebracht sind. 25
30
35
18. Kraftwerksanlage nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Generator (4) ebenfalls im Druckbehälter untergebracht ist. 40
19. Kraftwerksanlage nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckbehälter Zugangsöffnungen aufweist.
20. Kraftwerksanlage nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckbehälter Ventilations- 45
einrichtungen zum Ausspülen des CO₂ aufweist.

50

55

Fig. 1



9

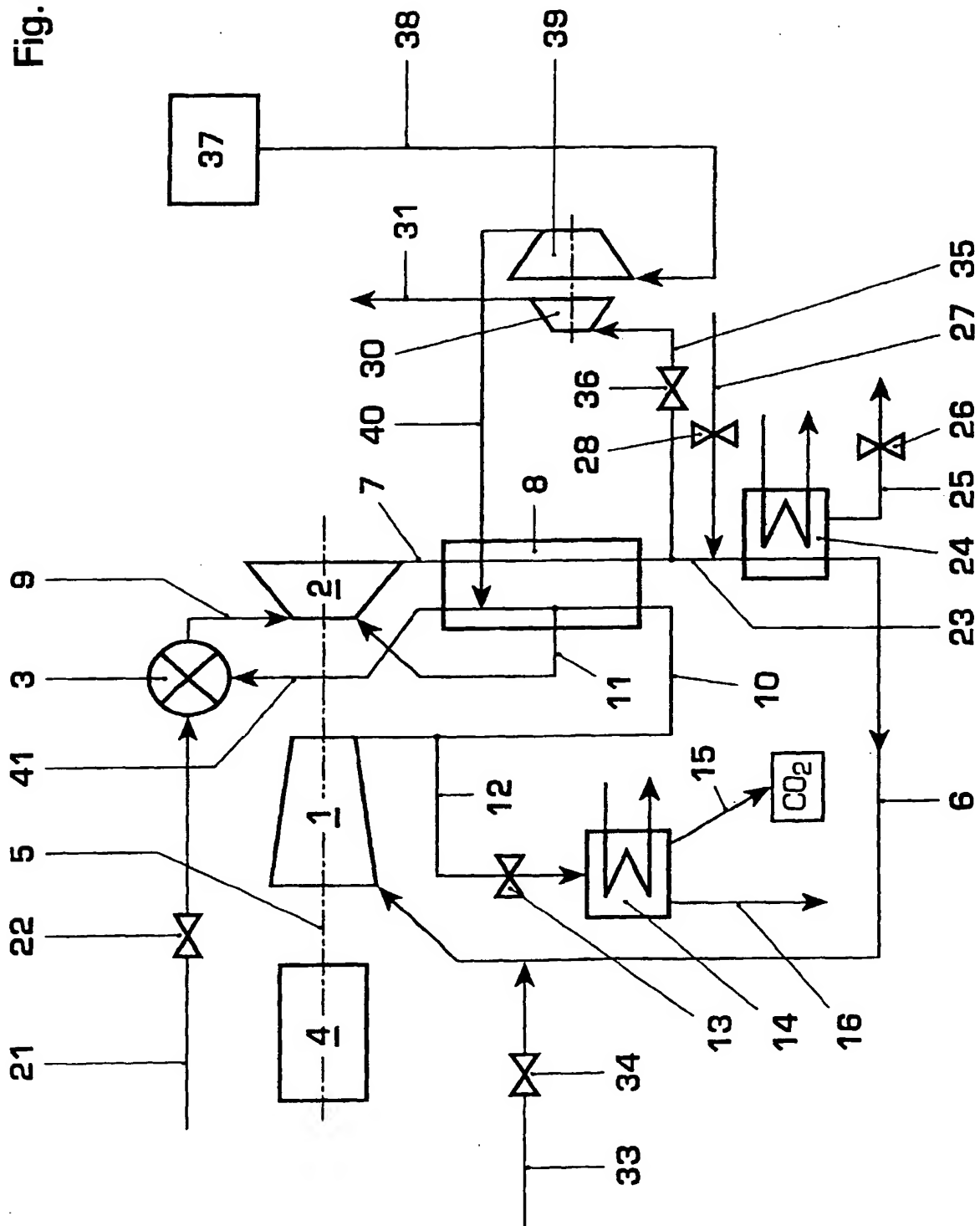
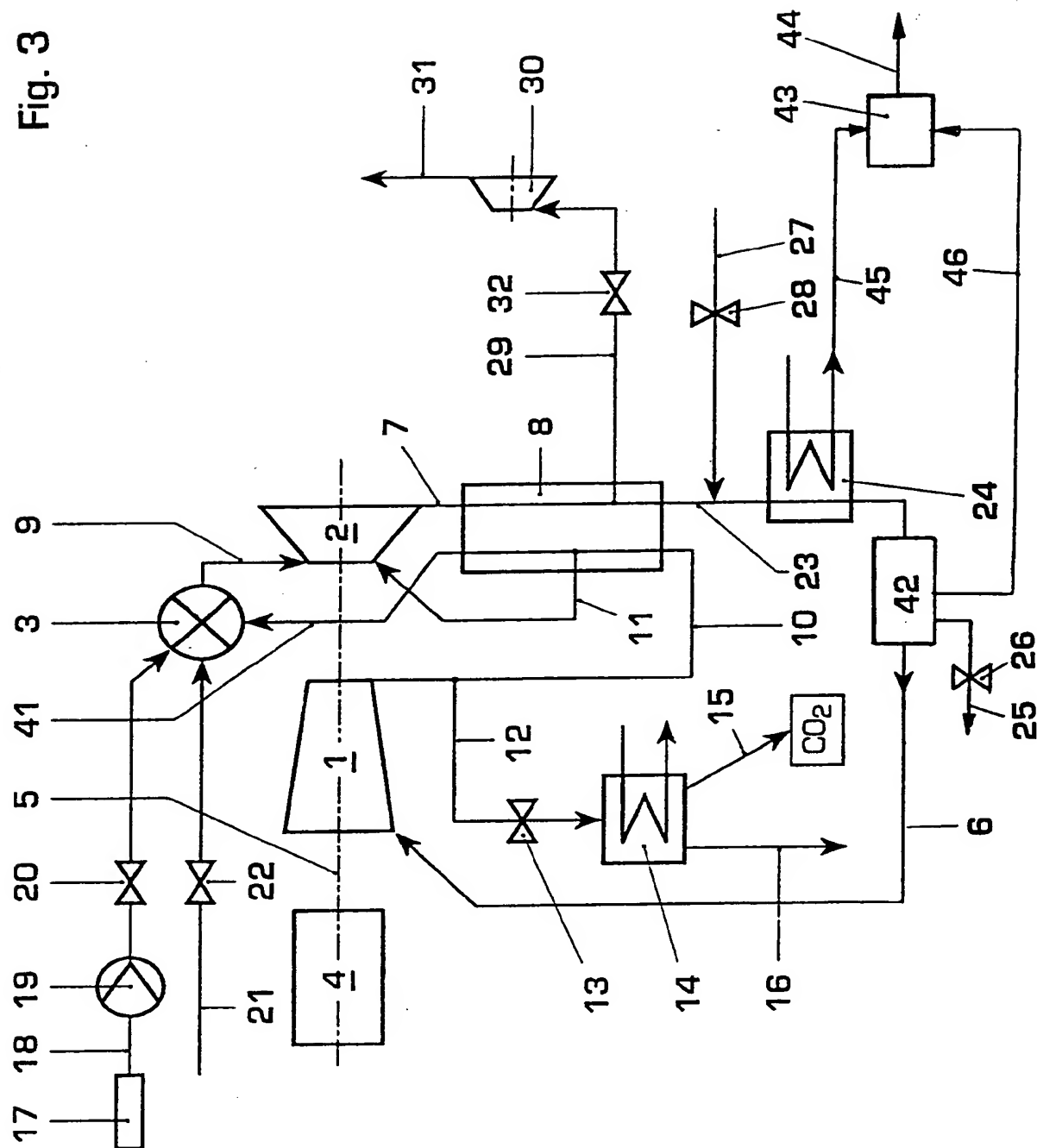


Fig. 3





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 98 81 0378

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	DE 43 03 174 A (SCHWIEGER) 18. August 1994 * Spalte 2, Zeile 14 - Spalte 4, Zeile 39; Abbildungen *	1,4,6,13	F02C3/34 F01K21/04 F02C3/20
X	WO 95 02115 A (LOEYTTY ARI VELI OLAVI) 19. Januar 1995 * Seite 7, Zeile 19 - Seite 9, Zeile 4; Abbildung 8 *	1,6,13	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 080 (M-1368), 17. Februar 1993 & JP 04 279729 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 5. Oktober 1992 * Zusammenfassung *	1	
X	US 4 498 289 A (OSGERBY IAN) 12. Februar 1985 * Spalte 6, Zeile 34 - Spalte 8, Zeile 27; Abbildung 1 *	1,6,9,13	
A	YULIN SHAO ET AL: "NATURAL GAS FIRED COMBINED CYCLE POWER PLANT WITH CO2 CAPTURE" ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, Bd. 36, Nr. 12, 1. Dezember 1995, Seiten 1115-1128, XP006529061 * Seite 118, Zeile 14 - Seite 1121, Absatz 1 * * Seite 1126, letzter Absatz - Seite 1127, Zeile 2 *	1-3,10, 13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) F02C F01K
A	DE 36 43 401 A (GREUL ARTUR RICHARD) 30. Juni 1988 * Spalte 4, Zeile 31 - Zeile 65; Abbildung 1 *	1-3,13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 24. September 1998	Prüfer Van Gheel, J
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03/92 (P4/C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 98 81 0378

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	US 5 175 995 A (PAK PYONG-SIK ET AL) 5. Januar 1993 * Spalte 6, Zeile 6 - Zeile 57; Abbildung 2 *	1,13	
A	WO 97 44574 A (COLLIN PER ;NONOX ENG AB (SE)) 27. November 1997 * Seite 3, Zeile 21 - Seite 6, Zeile 27 * * Seite 8, Zeile 26 - Zeile 34; Abbildungen *	9	
A	FR 2 202 231 A (BBC SULZER TURBOMASCHINEN) 3. Mai 1974 * Seite 3, Zeile 8 - Seite 5, Absatz 1; Abbildungen *	4,7,8	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 24. September 1998	Prüfer Van Gheel, J
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)